心理学报 2018, Vol. 50, No.8, 880−891
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2018.00880

基于定量脑电图的音乐和灯光颜色对情绪的影响*

卢 伟[1] 黄尔齐[1] 原晋霞[2]

([1]南京农业大学工学院, 南京 210031) ([2]南京师范大学教育科学学院, 南京 210097)

摘 要 研究利用定量脑电图(quatitative electroencephalograhy, qEEG)技术和自我报告法分析音乐和灯光颜色对情绪的影响。实验基于效价–唤醒度框架评价情绪。实验 1 考察 3 种灯光颜色和 4 种音乐调式作为单环境因素刺激的主观结果和 EEG 信号, 实验 2 考察 3 种灯光颜色与 4 种音乐调式作为双环境因素刺激的主观结果和 EEG 信号。研究发现：(1)通过 qEEG 技术研究不同类型的音乐调式和灯光颜色对人情绪的影响是可行的。(2)大调、宫调音乐和绿色灯光对情绪产生积极影响, 小调、羽调音乐和红色灯光对情绪产生消极影响。(3)音乐和灯光双环境因素对情绪同时刺激时, 具有交互作用, 情绪正相关影响双环境因素对情绪影响有加强, 负相关影响双环境因素对情绪影响有削弱。(4)在灯光颜色与音乐作为双环境因素刺激被试时, 主要由音乐调式影响情绪变化, 但是灯光颜色与音乐调式组合时, 对情绪影响程度依然有显著差异。(5)音乐刺激本身具有的情绪信息与被试被诱发的情绪相一致, 灯光颜色的情绪标签与被试被影响的情绪基本一致。

关键词 qEEG; 音乐; 情绪; 灯光颜色

分类号 B842

1 引言

当人类的视觉和听觉受到情绪刺激时, 大脑会对此进行信息处理并调节情绪。视觉刺激包括明度、色调和饱和度; 听觉刺激包括音调、音强和音色(Bakker & Martin, 2015; Figueiro, Bierman, Plitnick, & Rea, 2009; Naranjo et al., 2011)。医学研究证明, 情绪刺激的信息处理由大脑多个部分共同完成。比如, 情绪信息处理由额叶负责, 视觉信息处理由枕叶负责, 听觉信息处理由颞叶负责。同时, 脑电图研究发现, 大脑在积极情绪效价状态, 左脑半球皮层的脑电活动高于右脑半球皮层, 而在消极情绪效价状态, 右脑半球皮层的脑电活动高于左脑半球皮层(Nidal & Malik, 2014)。例如, 右侧大脑受损时, 其脑电活动异常小于左侧大脑, 会引起病理性笑症状。当左侧大脑受损时, 其脑电活动异常小于右侧大脑, 会引起病理性哭症状(Sackeim et al., 1982)。这些研究都证明情绪刺激可以诱发情绪的改变, 同时改变大脑皮层对应位置的电位信号(Pham, Tran, Ma, & Tran, 2015)。

研究听觉与情绪的关系时, 通常把音乐作为诱发情绪改变的因素, 分析音乐自身的情感内容、标签音乐的情绪以及分析音乐对大脑的影响。例如, 国际情感数字化声音(The International Affective Digital Sounds system, IADS)是一套规范化的情绪素材, 可用于研究音乐的情感内容实验(Bradley & Lang, 1994, 2007)。额脑不对称理论和 EEG 实验表明可以使用两个通用模型 ANN1(EEG 记录与情绪)和 ANN2(音乐内容与情绪)对音乐进行情绪标签化(Hsu, Zhen, Lin, & Chiu, 2018)。功能磁共振成像

收稿日期: 2017-03-07

* 国家自然科学基金(51405239); 江苏省农机三新工程项目(SZ120170036); Asia hub on WEF and Agriculture, NAU-MSU 联合研究项目(2017-H-11)。

通信作者: 卢伟, E-mail: njaurobot@njau.edu.cn

(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)研究表明, 当播放悲伤音乐时, 杏仁体、海马体、海马旁回、颞极活动增强, 播放愉快音乐时, 腹侧纹状体、前上岛、罗兰迪克岛盖呈兴奋状态, 并且形成音乐处理的相关运动回路, 表明情绪标签音乐会影响大脑不同部位的活动(Koelsch, Fritz, V Cramon, Müller, & Friederici, 2006)。但是, 情绪标签音乐对人情绪的影响还需进一步验证和实验探究。

研究视觉与情绪之间关系的过程中, 通常把灯光作为诱发情绪改变的因素。影响视觉的灯光因素包括照明、色温、颜色和布置等(Gilbert, Fridlund, & Lucchina, 2016; Koelsch et al., 2006; Knez, 1995; Maher et al., 2001; Park, Ha, Ryu, Kim, & Jung, 2013)。在现代工作生活中, 不同的环境和时间对照明条件的需求不同, 并且灯光的明度、色调、饱和度都会影响人的生理和心理。已有研究表明, 当办公环境处于在富含蓝光和白光的条件下, 员工的工作效率比只有白光时高(Bakker & Martin, 2015; Iskra-Golec, Wazna, & Smith, 2012; Park et al., 2013)。工作环境颜色对人的工作效率和情绪的影响明显, Kwallek 和 Lewis (1990)的研究发现, 红色办公室与白色办公室相比, 红色办公室中员工注意力更集中、工作效率更高、工作错误率更低; 红色办公室与绿色办公室相比, 红色办公室中员工困惑程度更低、紧张度平缓(Kwallek & Lweis, 1990)。情绪与认知能力研究发现, 亮度为 300lx、色温为 3000K 的暖白光或者亮度为 1500 lx、色温为 4000K 的冷白光可产生积极的情绪。昼夜节律系统研究表明, 人在晚上对短波长(蓝)的光最敏感且有警觉性, 对长波长(红)的光最不敏感且无警觉性(Figueiro et al., 2009)。Phipps 等人通过记录反应时间和 EEG 数据分析指出即使蓝光强度非常低, 夜间长时间照射蓝光也可增强人的警觉性(Phipps-Nelson, Redman, Schlangen, & Rajaratnam, 2009)。

已有的环境心理学分析环境因素对情绪的影响, 都只从单种环境因素分析两者的关系。如琴弦音乐大调、小调对情绪的诱发机制(Bakker & Martin, 2015), 住宅环境中直接或间接的照明对情绪和大脑活动的影响(Shin et al., 2015)。一些研究尝试分析颜色与情绪的对应关系(Buechner, Maier, Lichtenfeld, & Elliot, 2015; Kaya & Epps, 2004), Sutton 和 Altarriba (2016)研究发现愤怒和失败等消极情绪词汇与红色关联性最高, 开心和满足等积极情绪词汇与黄色和白色关联性最高。Meier, Robinson 和 Clore (2004)研究指出光亮色通常与积极情绪词汇相对应, 而暗沉色与消极情绪词汇相对应。Lee, Latchoumane 和 Jeong (2017)尝试使用情感计算预测情绪对应的颜色, 他们利用 Thayer (1990)的情绪模型和模糊认知图(Fuzzy Cognitive Map, FCM)建立一个输入层为红绿蓝三色, 输出层为情绪效价和唤醒度的神经网络预测模型, 其中模拟最佳验证均方误差为 8.90%。还有一些研究尝试分析音乐与颜色的情绪对应关系。如 Barbiere 等(2007)采用自我报告法, 在被试接受情绪音乐刺激后, 在同一情绪背景下, 主观选择同样情绪刺激最多的颜色作为代表色。结果发现, 快乐的歌曲通常匹配的是黄色、红色、绿色和蓝色, 悲伤的音乐通常对应的是灰色。还有研究单独分析音乐的大调、小调和灯光的色温、亮度对脑电图平均频带功率的影响。比如, 脑电图(EEG)的平均频带功率携带着关于音乐调式的信息; 暖色低光或者冷色高光对 α 的平均频带功率有提高作用, 而且 EEG 信息的有效性和敏感性随着实验深入而增强。众多研究都表明 EEG 可以作为生物标记分析多色光对认知能力的影响(Jenni, Oechslin, & James, 2017; Min, Jung, Kim, & Park, 2013; Shin et al., 2015)。

综上所述, 音乐和灯光颜色作为刺激, 被主观赋予情绪的含义, 并且都能影响情绪(Konečni, 2008; Moharreri, Rezaei, Dabanloo, & Parvaneh, 2014)。音乐、灯光颜色之间也具有内在联系。为探究音乐和灯光颜色叠加对情绪的影响, 本文采用定量的情绪效价–唤醒度框架(valence-arousal framework)和脑电图技术(EEG)组成定量脑电图(qEEG)来研究音乐和灯光颜色对情绪的影响。情绪效价是测量情绪积极和消极状态的通用指标(Lang, 1995), 情绪效价–唤醒度框架通过使用维度测量的方式计算情绪活动状态。已有的影响情绪效价的 EEG 实验研究根据左右大脑不对称活动(asymmetric activation)理论, 通过分析大脑皮层(cerebral cortex)不同位置电极的 α 波(8~15 Hz)和 β 波(15~30 Hz)的平均频带功率在不同刺激下的数值得出结论(Cook, O’Hara, Uijtdehaage, Mandelkern, & Leuchter, 1998)。测量唤醒度的传统实验方法为检测心率图(heart rate)、皮肤温度(skin temperature)或者皮肤电反应(galvanic skin response)。一些研究表明, 脑部活动已经用于检测唤醒度(Aftanas, Varlamov, Pavlov, Makhnev, & Reva, 2002)。比如, 高压力工作状态对应高唤醒度(Brookhuis & de Waard, 2001), 低精神状态对应低唤醒度(Kroemer, Kroemer, & Kroemer-Elbert, 1994)。

α 波频率范围是 8~15 Hz。研究发现 α 波频率值与觉醒度、闭眼状态、警觉度和创造力有关。通过检测大脑区域的活动，发现 α 波在头的后半部和枕骨(occipital bone)区域的振幅较高，脑部不对称活动在额叶皮层(frontal cortex)表现特别强烈与明显(Schutter, van d'Alfonso, Postma, & de Haan, 2001)。一些研究表明，α 频带功率在脑电活动中不会一直处于主导地位，而是呈现一种负相关的关系。这表明，在脑部活动较弱时，α 频带功率高于其他频带功率。在脑部活动较强时，α 频带功率会低于其他频带功率(Cook et al., 1998)。根据事件相关电位(event-related potentials, ERP)研究，基于频谱图像分析颜色对大脑活动的影响，α 频带功率在绿色刺激下高于蓝色和红色(Nidal & Malik, 2014)。以上研究仅证明环境刺激对 α 频带功率影响，尚未定量研究脑电图(qEEG)与情绪的关系。

β 波频率范围是 15~30 Hz，仅在正常成年人身上发现。研究发现 β 波与注意力活跃度、思考活跃度、解决关键问题能力和对外界世界的集中力有关(Patel, 2011)，被称为感觉运动节律。实验证明，β 波主要集中在脑部前方和中央区域，振幅在正常情况下低于 30 μV。根据 ERP 研究发现，红色对大脑 β 波频率有促进作用，并且大于其他颜色对脑部的影响，这种影响取决于最高频率的改变，此结论也适用于 β 波平均频带功率 (Zhang & Tang, 2011)。

本研究利用情绪效价–唤醒度框架，通过控制环境因素(音乐、灯光颜色)的组合，分析环境因素对被试情绪的影响。为避免灯光的波长与颜色交互影响，本研究使用可控变色灯进行灯光颜色实验。利用定量脑电图独立频段数据采集的技术，单独考察环境因素对 α 波、β 波频率和频带功率的影响以及各个频段与情绪的关系。情绪效价根据大脑左右半球不对称理论将左脑半球 α 频谱功率减去右脑半球 α 频谱功率，正值表示左脑半球比右脑半球有更高的活动反应，表示积极情绪效价状态；同理，负值表示消极情绪效价。唤醒度是基于精神压力，利用 β 频带在压力上的数值特点，计算 β 频带功率与 α 频带功率的比值，以此显示活跃度与非活跃度的状态(Brookhuis & de Waard, 2001)。

实验假设，在情绪效价–唤醒度框架上，两种正相关情绪的环境因素叠加后可能对情绪影响作用加强，被试情绪效价和唤醒度变化程度在双因素刺激时可能大于单因素刺激，即被试情绪变化程度更大。两种负相关情绪的环境因素叠加后可能对情绪影响作用减弱，被试情绪效价和唤醒度可能主要受影响情绪更强的因素影响，即被试情绪变化程度小于任意一种环境因素单独刺激的情绪变化程度(Bylsma, Morris, & Rottenberg, 2008)。在 EEG 生理指标上，双环境因素比单环境因素可能更容易诱发 α 波和 β 波频带功率出现更大波幅。被试初始状态不同，环境因素影响效果可能也不同。当被试初始状态为积极时，环境因素对 α 波频谱功率振幅影响较小，β 波频谱功率振幅影响可能较大；当被试初始状态为消极时，α 波振幅较大，β 波振幅较小。根据已有 EEG 实验和 10/20 电极设置(International 10/20 system)通过左脑半球(AF3、F7、F3、FC5、T7、P7、O1)和右脑半球(AF4、F8、F4、FC6、T8、P8、02)采集到的 EEG 数据与情绪的相关性高。以往的研究更多分析环境因素与情绪词汇的联系，较少分析单双环境因素对 EEG 数据的影响。在单环境因素刺激下，情绪词汇可能更容易给予被试心理暗示使 EEG 信号振幅较小，大脑皮层的频谱图可能比较平滑，噪声较少；在双环境情绪因素刺激下，环境因素强于情绪词汇对大脑的影响使 EEG 信号振幅较大，大脑皮层的频谱图可能噪声和毛刺较大。

2 实验 1：音乐和灯光因素单独作用对情绪的影响

2.1 实验目的

探讨 4 种音乐调式(西方大调和小调，东方宫调和羽调)和 3 种原色灯光(红色、蓝色、绿色)对中国被试的单因素情绪诱发效应，考察被试在聆听音乐和感受灯光过程中单环境因素的情绪体验和脑电特征。

2.2 方法

2.2.1 被试

21 名自愿实验的本科生和研究生被试(男生 11 人，女生 10 人，年龄在 20~25 岁之间)。全部被试都是第一次参与本次实验，并且没有参与过相似的实验，也未填写过相似的实验材料，同时医疗档案中没有关于脑部疾病、色盲、听力问题的记录。在实验之前，被试被告知这次实验的流程。

2.2.2 实验材料和器材

实验中的音乐材料，参照 Bakker 和 Martin (2015)和白学军、马谐和陶云(2016)的实验流程，并请音乐学院的学生从《贝多芬钢琴奏鸣曲集》、《钢琴基础教程》和古筝教学教材中选取 4 种音乐调式

(大调和小调、宫调和羽调), 每一种调式截取 3 个选段作为刺激(Bakker & Martin, 2015; 白学军等, 2016), 且采用中–西音乐相结合来避免实验局限于一种音乐调式。为提高音乐调式在实验中对情绪效价和唤醒度的准确性, 我们选取的西方音乐大、小调统一为 C 调, 东方音乐宫调、羽调统一为 C 和 D 调(材料节选如图 1 所示)。实验灯光材料参考已有研究 Park 等(2013), 选用可控变色灯进行实验, 灯泡光源发出三原色(红、蓝、绿)作为灯光颜色刺激。此外, 对招募的 20 个人进行音乐和灯光颜色的情绪效价和唤醒度评定。结果显示, 音乐调式和灯光颜色在情绪效价(p < 0.001)和唤醒度(p < 0.001)上均有显著差异。以 5 作为情绪效价和唤醒度的基准线, t 检验结果显示, 大调音乐(p < 0.001)、宫调音乐(p < 0.005)、红色灯光(p = 0.02)及绿色灯光(p = 0.02)属于积极情绪刺激, 小调音乐(p = 0.005)和羽调音乐(p = 0.004)属于消极情绪刺激。

实验中脑电信号的采集, 选用 Emotiv 公司的 EPOC+脑电波检测仪记录被试的 α 波、β 波频带功率值, 采样频率为 500 Hz。实验中灯光颜色刺激通过 LED 变色控制系统呈现, 波长可控范围为(480~630 nm), 实验中音乐刺激通过笔记本电脑和线控式耳机播放。

2.2.3　实验设计

实验控制 4 种音乐调式(大调和小调、宫调和羽调)和 3 种灯光颜色(红、蓝、绿), 一共组成 7 组单因素实验条件: 大调音乐、小调音乐、宫调音乐、羽调音乐、红色灯光、蓝色灯光、绿色灯光。被试进入一个隔音良好的实验室中, 主试介绍实验任务并进行示范, 工作人员帮助受试者佩戴脑电波测试仪、线控式耳机, 调整被试与 LED 灯源的距离。随机挑选白炽灯条件和两首音乐对被试进行 3 次练习, 接着在白炽灯、无噪声环境下完成 3 道 20 以内加减混合运算数学题以调整被试的情绪。

正式实验前, LED 灯呈关闭状态, 被试佩戴耳机且无播放音乐。实验条件顺序如图 2 所示。前 4 组音乐刺激实验流程为: 填写 SAM 以完成情绪刺激前的情绪评定, 播放实验音乐材料。被试注意力在音乐刺激上, 避免其他刺激的干扰, 记录音乐刺激时被试的 EEG 数据, 刺激时间为 20s。刺激结束后, 音乐停止。后 3 组灯光颜色刺激实验流程为: 填写 SAM 以完成情绪刺激前的情绪评定, 进行灯光颜色刺激。被试注意力在灯光颜色刺激上, 避免其他刺激的干扰, 记录灯光颜色刺激时被试的 EEG 数据, 刺激时间为 20 s。刺激结束后, 灯光关闭。每一个试次结束后, 被试需要填写音乐或者灯光颜色的 SAM, 以评价接受刺激后的情绪。接着完成 3 道 20 以内混合运算的计算题, 使被试达到心情的平复, 如果计算错误, 增加 1 min 休息时间。休息结束后, 进入下一个实验试次, 重复进行实验, 直至 7 组实验条件都完成一遍。共记录 14 条被试主观情绪数据, 及 7 组单环境因素影响的 EEG 数据。
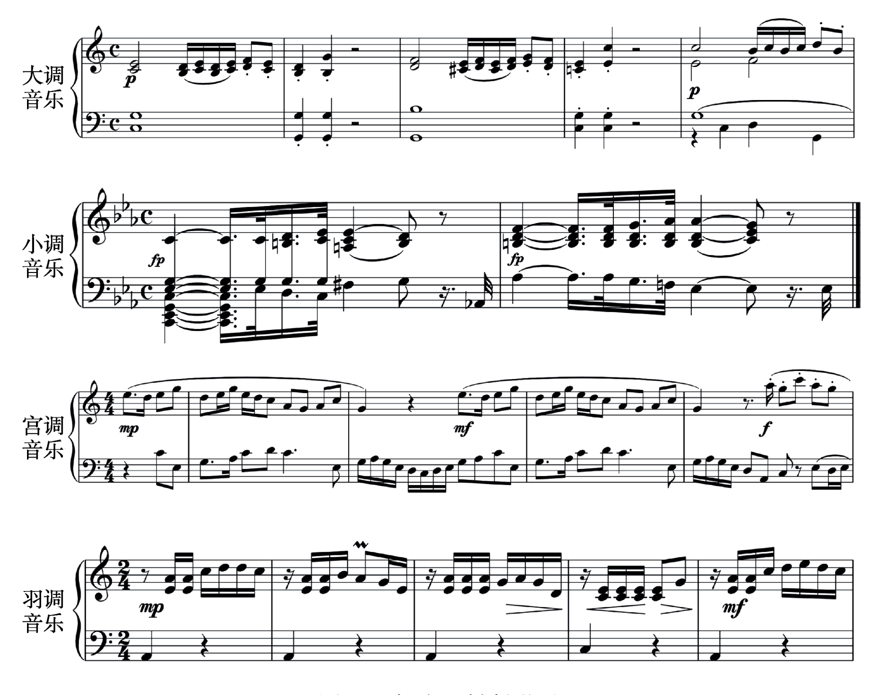


图 1　实验 1 材料节选

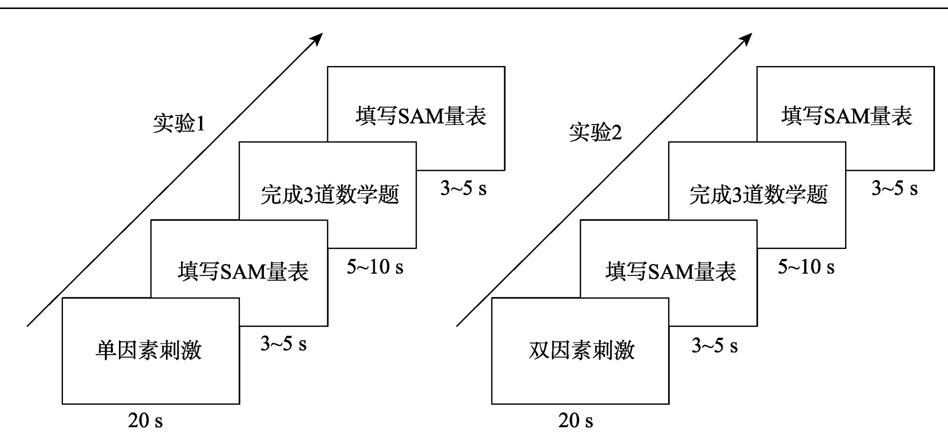


图 2 实验顺序

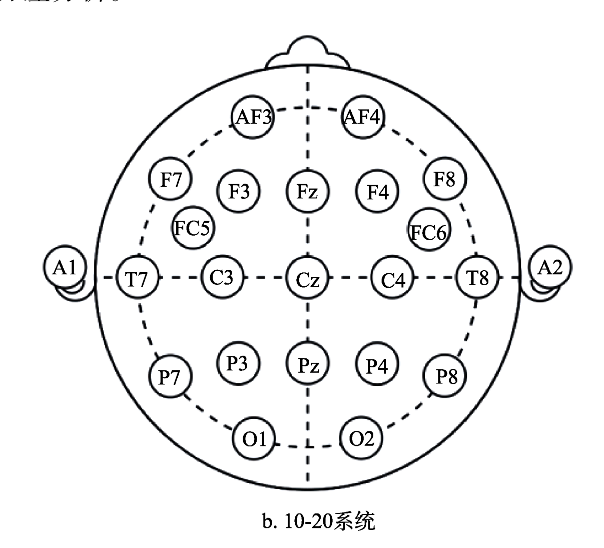
2.3 数据结果和分析

实验基于 EMOTIV 公司的 EPOC+脑电波检测仪(图 3a)及 EEG 软件编程接口(application programming interface, API)建立实时情绪测量系统，通过情绪效价–唤醒度框架对情绪进行定量脑电波(qEEG)分析。首先，使用 EPOC+脑电波检测仪记录相对应电极的 EEG，电极位置参照已有研究按照国际 10-20 系统设置(图 3b)。研究表明当时域信号采用 REST 时，可有效减小电极之间的相关性，提高实验数据的准确性(Qin, Xu, & Yao, 2010)。本研究所用电信号为仪器经过 CMS/DRL 降噪配置处理后的频域信号，设置 P3、P4 电极作为参照电极，数据采集电极在左脑半球(AF3、F7、F3、FC5、T7、P7、O1)和右脑半球(AF4、F8、F4、FC6、T8、P8、02)。每次佩戴仪器时使用 EmotivXavierControlPanel 软件检测电极与大脑连接程度，所有电极连接良好后再进行实验。电极采样频率为 500Hz，在 EEG 连续时域数据通过汉明窗转换成频域后，在频域中直接读取 α 波(8~15 Hz)和 β 波(15~30 Hz)的平均频带功率，每一个电极的频带功率在正则化后输入情绪效价–唤醒度模型。在包含二维坐标的可视化情绪板上，纵坐标表示情绪效价，横坐标表示唤醒度(Russel, 1980)。每个试次显示单环境因素刺激下被试情绪变化在二维坐标移动趋势，可用于分析刺激的情绪标签与对被试情绪影响是否一致。

分别对每个实验条件下的情绪效价，唤醒度进行叠加和取平均，最终得到由音乐调式(大调和小调、宫调和羽调)和灯光颜色(红色、蓝色、绿色)组成的 7 组 qEEG 实验数据(大调音乐、小调音乐、宫调音乐、羽调音乐、红色灯光、蓝色灯光、绿色灯光)。由于本实验研究单环境因素对被试情绪的影响，为防止光照强度在第四试次以后作为第三环境因素影响实验结果，被试距离灯光位置保持不变，且被试不能直接注视光源，防止残影效应导致下一次试次灯光波长的叠加。每位被试共进行 7 个试次，每个试次的情绪变化通过情绪效价–唤醒度图可视化。对于测出的平均频谱功率进行单环境因素测量方差分析。



a. EPOC+脑电检测仪



b. 10-20系统

图 3 脑电检测仪及电极设置

2.3.1　主观结果

按照音乐 4(大调、小调、宫调、羽调)加上灯光 3(红色、蓝色、绿色)的实验设计, 记录每个被试的情绪效价和唤醒度(表 1)。对音乐和灯光颜色进行重复测量方差分析, 结果表明, 情绪效价主效应显著, $F(6, 120) = 2.26$, $p < 0.05$, $\eta^2_p = 0.10$, 情绪效价的多重比较显示：大调音乐显著高于小调音乐(p = 0.015)和羽调音乐(p = 0.05); 小调音乐显著低于宫调音乐(p = 0.038); 宫调音乐显著高于小调音乐(p = 0.038)和羽调音乐(p = 0.04); 其他两个因素之间无显著差异。唤醒度主效应显著, $F(6, 120) = 4.66$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.19$, 唤醒度的多重比较显示：大调音乐显著高于小调音乐(p = 0.006)和羽调音乐(p = 0.004); 小调音乐显著低于宫调音乐(p = 0.002)、红色灯光(p = 0.05)、蓝色灯光(p = 0.044)、绿色灯光(p = 0.005); 宫调音乐显著高于羽调音乐(p = 0.002); 羽调音乐显著低于绿色灯光(p = 0.007); 其他两个因素之间无显著性差异。

2.3.2　qEEG 结果

按照实验设计, 记录被试的 EEG 情感计算的情绪效价和唤醒度(表 2)。对音乐和灯光颜色进行单因素方差分析, 结果显示, 情绪效价主效应显著, $F(6, 120) = 6.25$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.24$, 情绪效价的多重比较显示：大调音乐显著高于小调音乐(p = 0.002)和羽调音乐(p = 0.04); 小调音乐显著低于宫调音乐(p = 0.002)、红色灯光(p = 0.009)、蓝色灯光(p = 0.02)和绿色灯光($p < 0.001$); 宫调音乐显著高于羽调音乐(p = 0.001)、蓝色灯光(p = 0.005); 羽调音乐显著低于蓝色灯光(p = 0.04); 其他两个因素之间无显著性差异。唤醒度无显著性差异。

3　实验 2：音乐和灯光双环境因素作用对情绪的影响

3.1　实验目的

探讨 4 种音乐调式(西方大调和小调, 东方宫调和羽调)和 3 种原色灯光(红色、蓝色、绿色)对中国被试的双环境因素情绪诱发效应, 考察被试在聆听音乐和感受灯光过程中双环境因素的情绪体验和脑电特征。

3.2　方法

3.2.1　被试

同实验 1。

3.2.2　实验材料和器材

同实验 1。

3.2.3　实验设计

将实验灯光颜色(红色、蓝色、绿色)与音乐调式(大调、小调、宫调、羽调)组成 12 组。实验条件为：3 种灯光颜色与 4 种音乐调式组合成 3×4 种实验条件。其它同实验 1。重复实验, 直至 12 组实验条件都完成一遍, 共记录 24 条被试主观情绪数据, 及 240 s 双环境因素影响的 EEG 数据。

3.3　数据结果和分析

情绪测量及分析方法同实验 1, 分别对每个实验条件下的情绪效价, 唤醒度进行叠加和取平均。此外, 实验中灯光颜色和音乐刺激同时施加, 以避免某刺激单独影响被试。每位被试共进行 12 试次, 每个试次的情绪变化通过情绪效价–唤醒度图可视化。对于测出的平均频谱功率进行双环境因素测量方差分析。

3.3.1　主观结果

按照音乐(大调、小调、宫调、羽调)和灯光(红、蓝、绿)12 种组合的实验设计, 记录每个实验组被试的情绪效价和唤醒度(表 3)。以情绪效价为因变量, 双环境因素重复测量方差分析, 结果显示：音乐调式主效应显著, $F(6, 120) = 7.79$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.29$, 多重比较结果显示：大调音乐显著高于小调音乐(p = 0.003)和羽调音乐($p < 0.001$); 小调音乐显著低于宫调音乐(p = 0.018); 宫调音乐显著高于羽调音乐(p = 0.008)。灯光颜色主效应和音乐调式类型与灯光颜色交互作用均无显著差异。以唤醒度为因变量, 双环境因素重复测量方差分析, 结果显示：音乐调式主效应显著, $F(6, 120) = 13.03$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.41$, 多重比较结果显示：大调音乐显著高于小调音乐($p < 0.001$)和羽调音乐($p < 0.001$); 小调音乐显著低于宫调音乐(p = 0.001); 宫调音乐显著高于羽调音乐(p = 0.004)。灯光颜色主效应显

表 1　音乐和灯光颜色作为单环境因素影响被试的主观反应(n = 21)

主观感受	大调		小调		宫调		羽调		红色		蓝色		绿色	
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
情绪效价	0.43	0.87	–0.62	1.56	0.52	1.33	–0.33	1.28	–0.14	1.20	0.00	1.83	0.29	1.00
唤醒度	0.62	1.07	–0.62	1.12	0.76	0.94	–0.43	0.98	0.05	1.24	0.24	1.38	0.48	0.93

表 2 音乐和灯光颜色作为单环境因素影响被试的生理反应(n = 21)

生理反应	大调		小调		宫调		羽调		红色		蓝色		绿色	
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
情绪效价	0.42	1.42	–1.26	1.56	0.72	0.90	–0.34	0.99	–0.43	1.36	–0.15	0.90	0.35	1.11
唤醒度	–0.06	1.17	–0.08	1.01	0.03	0.70	0.08	1.31	0.02	0.86	–0.09	1.05	0.10	0.92

著, $F(6, 120) = 3.25$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.15$, 多重比较结果显示：蓝色灯光显著高于绿色灯光($p = 0.05$)。音乐调式类型与灯光颜色交互作用均无显著差异。

3.3.2 qEEG 结果

qEEG 数据记录每个实验组下被试的情绪效价和唤醒度(表 4)。以情绪效价为因变量, 双环境因素重复测量方差分析显示：音乐调式主效应显著, $F(6, 120) = 5.77$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.423$。多重比较结果显示：大调音乐边缘显著高于小调音乐($p = 0.05$)和羽调音乐($p = 0.006$); 小调音乐显著低于宫调音乐($p = 0.025$); 宫调音乐显著高于羽调音乐($p = 0.005$)。灯光颜色主效应和音乐调式类型与灯光颜色交互作用均无显著差异。以唤醒度为因变量, 结果显示：音乐调式、灯光颜色主效应和音乐调式类型与灯光颜色交互作用均无显著差异。

表 3 音乐和灯光颜色作为双环境因素影响被试的主观反应(n = 20)

主观感受	大调		小调		宫调		羽调	
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
情绪效价								
红光	0.20	1.11	–0.40	1.23	0.60	1.05	–0.10	1.02
蓝光	0.95	1.15	–0.50	1.24	0.55	1.10	–0.45	1.28
绿光	0.55	1.15	0.00	1.34	0.30	1.17	–0.20	0.70
唤醒度								
红光	0.35	1.23	–0.60	1.05	0.40	1.23	–0.50	1.00
蓝光	0.60	1.00	–0.45	1.61	0.80	1.47	0.20	0.89
绿光	0.75	1.29	–1.15	2.01	0.05	1.05	–0.50	0.69

表 4 音乐和灯光颜色作为双环境因素影响被试的生理反应(n = 20)

生理反应	大调		小调		宫调		羽调	
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
情绪效价								
红光	–0.10	1.52	–0.35	1.20	0.77	1.83	–0.57	0.87
蓝光	0.47	1.14	–0.73	1.65	0.02	1.15	–0.78	1.45
绿光	0.19.	1.49	–0.40	0.98	0.12	1.48	–0.73	1.44
唤醒度								
红光	0.13	1.46	0.00	1.28	–0.24	1.71	0.26	1.24
蓝光	0.27	1.05	–0.32	2.03	0.09	1.86	0.03	1.79
绿光	0.03	1.29	0.07	0.74	0.17	1.08	–0.50	2.16

4 讨论

4.1 音乐和灯光颜色的情绪标签

被试对音乐调式评价分析, 不同音乐调式的情绪标签差异明显。音乐的情绪效价标签显示, 在东方音乐中, 宫调的情绪效价大于羽调的情绪效价; 在西方音乐中, 大调的情绪效价大于小调的情绪效价, 并且宫调音乐和大调音乐是积极情绪影响, 羽调和小调是消极情绪影响。因为东方宫调音乐和西方大调音乐宽广明亮、节奏快速; 东方羽调音乐和西方小调音乐阴暗忧郁, 节奏慢速(Bakker & Martin, 2015; Bresin & Friberg, 2011; 白学军等, 2016)。通过分析得出西方音乐调式差异大于东方音乐调式差异, 由于情绪刺激材料中, 西方音乐的 C 大调、C 小调每一节符合自然大调和自然小调的七声。而东方音乐的宫调、羽调符合东方调式的五声。西方大、小调体系中, 使用大、小三度音程突出大调的明亮特性, 小调的暗淡特性。东方音乐的宫、商调体系中, 使用二度音程使音乐旋律流畅、清晰。使得西方音乐调式区分度大于东方音乐调式, 易于被试对西方音乐调式进行标签(李虻, 2007; Juslin, Liljeström, Västfjäll, Barradas, & Silva, 2008; 施忠, 2010)。音乐评价的唤醒度标签显示, 在东方音乐中, 宫调的唤醒度大于羽调的唤醒度; 在西方音乐中, 大调的唤醒度大于小调的唤醒度, 并且宫调音乐和大调音乐是正性唤醒度, 羽调音乐和小调音乐是负性唤醒度。结果与以往中西方音乐的研究不同(白学军等, 2016), 标签评价分析发现, 西方音乐大调的唤醒度大于东方音乐宫调的唤醒度, 西方音乐小调的唤醒度大于东方音乐羽调唤醒度。正如上文所述, 东方的宫调、羽调音乐是五声调式, 在音乐情绪表达方面弱于西方七声调式, 使被试对东方音乐刺激材料产生较弱的唤醒度(耿元卿, 2013; 李虻, 2007; Liu, Niu, Feng, & Liu, 2014)。

被试对灯光颜色评价分析, 不同灯光颜色的情绪标签差异明显。灯光颜色的情绪效价标签显示, 蓝色灯光的情绪效价小于绿色灯光的情绪效价; 绿色灯光的情绪效价与红色灯光的情绪效价无显著差异。通过分析得出：蓝色灯光是消极情绪刺激, 红

色灯光和绿色灯光是积极情绪刺激。与之前 Elliot, Maier, Moller, Friedman 和 Meinhardt (2007)与 Sutton 和 Altarriba (2016)的研究结果一致, 积极情绪词汇通常对应颜色排名为红色、绿色、蓝色。此外, 灯光颜色评价的唤醒度标签显示, 蓝色灯光的唤醒度小于绿色灯光的唤醒度; 绿色灯光的唤醒度小于红色灯光的唤醒度, 表明灯光颜色在唤醒度上的情绪影响分类与情绪效价相同。但是之前的研究也有不同的结果, 比如 Sutton 和 Altarriba (2016)的研究认为红色是消极情绪词最常见的颜色, 其次是蓝色, 绿色; 还有 Viola, James, Schlangen 和 Dijk (2008)表明, 蓝色灯光具有提高唤醒度的能力, 提高被试的表现。推测原因, 可能是西方被试认为红色与愤怒等消极词汇相联系, 中国文化中红色具有喜庆含义, 导致灯光颜色作为情绪刺激材料, 中国被试标签的差异; 还可能是照射灯光时间长短不同, 使被试对灯光有依赖性和疲劳性, 长时间的蓝光照射, 会加强对蓝色灯光的依赖并提高唤醒程度(Viola et al., 2008; Park, Ha, Ryu, Kim, & Jung, 2013)。

4.2　音乐调式和灯光颜色环境因素对情绪的影响

本研究采用 qEEG 技术和自我报告法分析了环境因素(音乐、灯光颜色)对情绪的影响。在实验 1 中, 音乐情绪效价和唤醒度的行为数据(表 1)显示, 被试在大调音乐、宫调音乐刺激后, 对情绪效价和唤醒度有积极影响; 被试在小调音乐、羽调音乐刺激后, 对情绪效价和唤醒度有消极影响。在音乐对情绪的影响方面, 实验结果与 Bakker 和 Martin (2015)、Jaimovic, Coghlan 和 Knapp (2012)和白学军等(2016)的实验结果一致, 大调音乐和宫调音乐在情感表达上表达积极情绪, 而小调音乐和羽调音乐表达的是消极情绪(Sutton & Altarriba, 2016; Vieillard et al., 2008)。根据 qEEG 的情绪效价和唤醒度数据(表 2)显示, 在效价上大调音乐和宫调音乐都属于积极情绪刺激, 小调音乐和羽调音乐属于消极情绪刺激。与行为数据结果和大部分实验研究结果(Bakker & Martin, 2015; 蔡之幸, 张振贤, 吴丽丽, 余元殊, 2015; Jaimovich et al., 2012; Koelsch et al., 2010; Vieillard et al., 2008; 王金芳, 张宁, 2009)相同, 证明音乐调式对情绪效价和脑电波影响有一致性, 但在唤醒度上没有发现显著差异。推测其原因, 可能是小调音乐会使被试的大脑额叶部位的 β 频带功率大于大调音乐(Jenni et al., 2017), 使得情感悲伤, 调速缓慢的音乐计算出较高的唤醒度, 令不同调式音乐对情绪影响无法形成显著差异。

分析灯光颜色刺激情绪效价和唤醒度的行为数据, 结果(表 1)显示, 被试经过红色、蓝色和绿色灯光刺激后, 唤醒度显著大于小调音乐。但是 3 种颜色之间并没有出现主效应显著, 与之前 Elliot 和 Maier (2014)的研究结果不一致。其原因一方面可能是在安静、无干扰的环境下, 被试的情绪更趋近于平静状态, 仅有灯光颜色一种情绪刺激改变还不足以使被试的心情发生明显的变化; 另一方面可能是被试的情绪确实被灯光颜色改变所影响, 但是变化还不足以使被试发现自己情绪的变化。根据 qEEG 的情绪效价和唤醒度数据(表 2), 红色灯光在情绪效价对被试产生消极影响, 而在唤醒度产生积极影响; 而蓝色灯光在两方面都是消极影响; 只有绿色灯光在情绪效价和唤醒度上都能产生积极影响且其影响大于其他两种颜色。虽然 3 种颜色之间没有出现显著性差异, 但是与以往研究相同, 如 Yoto, Katsuura, Iwanaga 和 Shimomura (2007)的研究结论, 在观察颜色刺激时, 红色对被试情绪的 β 波频带功率的影响大于蓝色。

在实验 2 中双环境因素刺激与单环境因素刺激作对比。音乐灯光的行为数据(表 3)整体分析表明, 在音乐与灯光颜色刺激作用下, 两者交互作用不明显, 音乐调式主效应显著, 大调、宫调音乐对情绪效价和唤醒度是积极影响; 小调、羽调音乐对情绪效价和唤醒度是消极影响。表明同时给予视觉和听觉刺激时, 听觉占据主导影响位置, 即大脑更倾向于分析音乐的情感内容(Lee et al., 2017; Oechslin, van de Ville, Lazeyras, Hauert, & James, 2013)。细致分析显示, 不同颜色灯光与音乐调式组合会产生与单环境因素不同的结论。比如从情绪效价上分析, 红色灯光不仅抑制了大调和宫调音乐的积极影响, 还抑制了小调和羽调音乐的消极影响; 此外, 蓝色和绿色灯光都促进了西方调式音乐的积极影响, 但也抑制了东方调式音乐的消极影响。说明当音乐和灯光进行互补会增强情绪的影响(Lee et al., 2017)。再比如唤醒度上分析, 红色、绿色灯光促进了大调和宫调音乐的积极影响, 却抑制了小调和羽调音乐的消极影响; 红色、绿色灯光与音乐对情绪的影响不相同, 推测其原因, 可能是音乐调式使人产生共鸣, 产生联想。当红色灯光符合联想场景可以促进情绪状态的改变, 反之抑制情绪的转变。当联想的场景为欢庆喜悦时, 红色灯光令人有温暖、幸福之感, 当联想的场景为悲惨凄凉时, 红色灯光使人恐怖、恐惧(Elliot & Maier, 2014; Konečni, 2008;

Sutton & Altarriba, 2016; Yoto et al., 2007; Park et al., 2013)，也可以认为灯光颜色与受试的经历有密切关系。

音乐灯光qEEG数据(表4)整体分析表明，与行为结果结论相同音乐调式在情绪效价上主效应显著，两者交互作用不明显。大调、宫调音乐对情绪有积极影响，小调、羽调对情绪有消极影响。根据上文分析听觉优势的特点，以及结合脑部不对称理论，可知即使灯光颜色对情绪没有影响，但是在脑部不同区域或者频段都会做出相应的反应。比如Plitnick, Figueiro, Wood 和 Rea (2010)实验表明 β 波频带功率可以测量昏暗条件下对被试紧张度的影响；Shin 等人(2015)研究表明 θ 波频带功率可以作为不同灯光环境反映情绪状态的标志。以上结果都说明可以从多方面测量灯光颜色对情绪的影响(Hsu et al., 2018; Maher et al., 2001; Shin et al., 2015)。从情绪效价和唤醒度综合分析，红色灯光促进音乐对情绪积极影响；绿色灯光抑制音乐对情绪积极影响；蓝色灯光促进西方音乐对情绪效价的积极影响，但是对东方古典音乐却是抑制这种影响。这与之前讨论的情况相符合，红色灯光营造一种暖色调氛围调节情绪向积极的方向，这种调节作用大于蓝色或者绿色的能力(Tantanatewin & Inkarojrit, 2016)。但蓝色灯光依然能产生积极的影响，比如Iskra-Golec 等(2012)等人的研究结论发现，因为由于蓝色属于冷色系列，容易让人产生消极的影响，但是能使人感觉到愉悦，即蓝光对被试影响为平静和满足。

4.3 情绪标签与影响情绪的一致程度

综合音乐、灯光颜色和情绪标签的结果。单环境因素对情绪的影响实验表明：从音乐分析，音乐情绪标签与音乐对情绪影响的匹配程度达到100%，即表示，音乐调式携带的情绪会影响听者，并诱导听者向其携带的情绪改变；从灯光颜色分析，蓝色和绿色灯光符合情绪标签与情绪影响的一致性，红色灯光不满足一致性。可以证明红色作为中国传统喜庆颜色，会直接给红色标签为积极情绪，但是在情绪影响上往往是令人感到恐惧、警告等消极影响(Elliot & Maier, 2014; Elliot et al., 2007; Sutton & Altarriba, 2016)。双环境因素对情绪的影响实验表明：根据听觉优势的特点，音乐调式对情绪影响的强度大于灯光颜色对情绪影响的强度，所以满足情绪标签与双环境因素对情绪影响的一致性(Lee et al., 2017)。

5 结论

在本实验条件下可得出如下结论：(1)通过qEEG 技术研究不同类型的音乐调式和灯光颜色对人情绪的影响是可行的。(2)大调、宫调音乐和绿色灯光产生积极情绪影响，小调、羽调音乐和红色灯光产生消极情绪影响。(3)音乐和灯光双环境因素对情绪同时刺激时，具有交互作用，情绪正相关影响双环境因素对情绪影响有加强，负相关影响双环境因素对情绪影响有削弱。(4)在灯光颜色与音乐作为双环境因素刺激被试时，主要由音乐调式影响情绪变化，但是灯光颜色与音乐调式组合时，对情绪影响程度依然有显著差异。红、蓝、绿三色的灯光刺激，唤醒度均大于小调音乐。(5)音乐刺激本身具有的情绪信息与被试被诱发的情绪相一致，灯光颜色的情绪标签与被试被影响的情绪基本一致。

参 考 文 献

Aftanas, L. I., Varlamov, A. A., Pavlov, S. V., Makhnev, V. P., & Reva, N. V. (2002). Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal: EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands. *International Journal of Psychophysiology, 44*(1), 67–82.

Bai, X. J., Ma, X., & Tao, Y. (2016). The response effects of Chinese and western music on emotion. *Acta Psychologica Sinica, 48*(7), 757–769.

[白学军, 马谐, 陶云. (2016). 中-西方音乐对情绪的诱发效应. *心理学报, 48*(7), 757–769.]

Bakker, D. R., & Martin, F. H. (2015). Musical chords and emotion: Major and minor triads are processed for emotion. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 15*(1), 15–31.

Barbiere, J., Vidal, A., & Zellner, D. (2007). The color of music: Correspondence through emotion. *Empirical Studies of the Arts, 25*(2), 193–208.

Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 25*(1), 49–59.

Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2007). *The international affective digitized sounds: Affective ratings of sounds and instruction manual* (2nd ed). Gainesville, FL: University of Florida.

Bresin, R., & Friberg, A. (2011). Emotion rendering in music: Range and characteristic values of seven musical variables. *Cortex, 47*(9), 1068–1081.

Brookhuis, K. A., & de Waard, D. (2001). Assessment of drivers' workload: Performance and subjective and physiological indexes. In P. A. Hancock, & P. A. Desmond (Eds.), *Stress, workload, and fatigue*. Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates.

Buechner, V. L., Maier, M. A., Lichtenfeld, S., & Elliot, A. J. (2015). Emotion expression and color: Their joint influence on perceived attractiveness and social position. *Current Psychology, 34*(2), 422–433.

Bylsma, L. M., Morris, B. H., & Rottenberg, J. (2008). A meta-analysis of emotional reactivity in major depressive

disorder. *Clinical Psychology Review, 28*(4), 676–691.

Cai, Z. X., Zhang, Z. X., Wu, L. L., & Yu, Y. S. (2013). Clinical effect of Gong-tune of Wuxing-music therapy combination with "Lixu Jieyu Formula" in the treatment of chronic fatigue syndrome. *Acta Universitatis Traditionis Medicalis Sinensis Pharmacologiaeque Shanghai, 29*(3), 18–22.

[蔡之幸, 张振贤, 吴丽丽, 余元殊. (2015). 五行宫调(正调式)音乐联合理虚解郁方治疗慢性疲劳综合征临床观察. *上海中医药大学学报, 29*(3), 18–22.]

Cook, I. A., O'Hara, R., Uijtdehaage, S. H., Mandelkern, M., & Leuchter, A. F. (1998). Assessing the accuracy of topographic EEG mapping for determining local brain function. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 107*(6), 408–414.

Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2014). Color psychology: Effects of perceiving color on psychological functioning in humans. *Annual Review of Psychology, 65*, 95–120.

Elliot, A. J., Maier, M. A., Moller, A. C., Friedman, R., & Meinhardt, J. (2007). Color and psychological functioning: The effect of red on performance attainment. *Journal of Experimental Psychology: General, 136*(1), 154–168.

Figueiro, M. G., Bierman, A., Plitnick, B., & Rea, M. S. (2009). Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. *BMC Neuroscience, 10*, 105.

Geng, Y. Q. (2013). *Effects research of Baduanjin & five-notes-music on the mental sub-health state* (Unpublished doctorial dissertation). Nanjing University of Chinese Medicine.

[耿元卿. (2013). *八段锦和五行音乐对心理亚健康状态干预作用的研究*(博士学位论文), 南京中医药大学.]

Gilbert, A. N., Fridlund, A. J., & Lucchina, L. A. (2016). The color of emotion: A metric for implicit color associations. *Food Quality and Preference, 52*, 203–210.

Hsu, J. L., Zhen, Y. L., Lin, T. C., & Chiu, Y. S. (2018). Affective content analysis of music emotion through EEG. *Multimedia Systems, 24*: 195–210.

Iskra-Golec, I. M., Wazna, A., & Smith, L. (2012). Effects of blue-enriched light on the daily course of mood, sleepiness and light perception: A field experiment. *Lighting Research & Technology, 44*(4), 506–513.

Jaimovich, J., Coghlan, N., & Knapp, R. B. (2012). Emotion in motion: A study of music and affective response. In M. Aramaki, M. Barthet, B. Kronland-Martinet, & S. Ystad (Eds.), *From sounds to music and emotions* (vol. 7900, pp. 19–43). Berlin, Germany: Springer.

Jenni, R., Oechslin, M. S., & James, C. E. (2017). Impact of major and minor mode on EEG frequency range activities of music processing as a function of expertise. *Neuroscience Letters, 647*, 159–164.

Juslin, P. N., Liljeström, S., Västfjäll, D., Barradas, G., & Silva, A. (2008). An experience sampling study of emotional reactions to music: Listener, music, and situation. *Emotion, 8*(5), 668–683.

Kaya, N., & Epps, H. H. (2004). Relationship between color and emotion: A study of college students. *College Student Journal, 38*(3), 396–405.

Knez, I. (1995). Effects of indoor lighting on mood and cognition. *Journal of Environmental Psychology, 15*(1), 39–51.

Koelsch, S., Fritz, T., V Cramon, D. Y., Müller, K., & Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: An fMRI study. *Human Brain Mapping, 27*(3), 239–250.

Konečni, V. J. (2008). Does music induce emotion? A theoretical and methodological analysis. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 2*(2), 115–129.

Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. B., & Kroemer-Elbert, K. E. (1994). *Ergonomics: How to design for ease and efficiency*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall.

Kwallek, N., & Lewis, C. M. (1990). Effects of environmental colour on males and females: A red or white or green office. *Applied Ergonomics, 21*(4), 275–278.

Lang, P. J. (1995). The emotion probe. Studies of motivation and attention. *American Psychologist, 50*(5), 372–385.

Lee, I. E., Latchoumane, C.-F. V., & Jeong, J. (2017). Arousal rules: An empirical investigation into the aesthetic experience of cross-modal perception with emotional visual music. *Frontiers in Psychology, 8*, 440.

Li, M. (Ed). (2007). *Analysis of music works*. Chongqing, China: Southwest China Normal University Press.

[李虻. (主编). (2007). *音乐作品曲式分析*. 重庆: 西南师范大学出版社.]

Liu, X. F., Niu, X., Feng, Q. J., & Liu, Y. M. (2014). Effects of five-element music therapy on elderly people with seasonal affective disorder in a Chinese nursing home. *Journal of Traditional Chinese Medicine, 34*(2), 159–161.

Maher, A. M., Kirkup, L., Swift, P., Martin, D., Searle, A., Tran, Y., & Craig, A. (2001). Effect of luminance level on electro-encephalogram alpha-wave synchronisation. *Medical and Biological Engineering and Computing, 39*(6), 672–677.

Meier, B. P., Robinson, M. D., & Clore, G. L. (2004). Why good guys wear white: Automatic inferences about stimulus valence based on brightness. *Psychological Science, 15*(2), 82–87.

Min, B. K., Jung, Y. C., Kim, E., & Park, J. Y. (2013). Bright illumination reduces parietal EEG alpha activity during a sustained attention task. *Brain Research, 1538*, 83–92.

Moharreri, S., Rezaei, S., Dabanloo, N. J., & Parvaneh, S. (2014). Study of induced emotion by color stimuli: Power spectrum analysis of heart rate variability. In *Proceedings of 2014 computing in cardiology* (pp. 977–980). Cambridge, MA, USA: IEEE.

Moller, A. C., Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2009). Basic hue-meaning associations. *Emotion, 9*(6), 898–902.

Naranjo, C., Kornreich, C., Campanella, S., Noël, X., Vandriette, Y., & Gillain, B., … Constant, E. (2011). Major depression is associated with impaired processing of emotion in music as well as in facial and vocal stimuli. *Journal of Affective Disorders, 128*(3), 243–251.

Nidal, K., & Malik, A. S. (Eds). (2014). *EEG/ERP analysis: Methods and applications*. Boca Raton, USA: CRC Press.

Oechslin, M. S., van de Ville, D., Lazeyras, F., Hauert, C.-A., & James, C. E. (2013). Degree of musical expertise modulates higher order brain functioning. *Cerebral Cortex, 23*(9), 2213–2224.

Park, J. Y., Ha, R.-Y., Ryu, V., Kim, E., & Jung, Y.-C. (2013). Effects of color temperature and brightness on electroencephalogram alpha activity in a polychromatic light-emitting diode. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience, 11*(3), 126.

Patel, N. D. (2011). *An EEG-based dual-channel imaginary motion classification for brain computer interface* (Unpublished master's thesis). Beaumont City, USA: Lamar University.

Pham, T. D., Tran, D., Ma, W., & Tran, N. T. (2015). Enhancing performance of EEG-based emotion recognition systems using feature smoothing. In S. Arik, T. W. Huang, W. K. Lai, & Q. S. Liu (Eds.), *Neural information processing* (vol. 9492, pp. 95–102). Cham, Germany: Springer.

Phipps-Nelson, J., Redman, J. R., Schlangen, L. J. M., & Rajaratnam, S. M. W. (2009). Blue light exposure reduces

objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. *Chronobiology International, 26*(5), 891–912.
Plitnick, B., Figueiro, M. G., Wood, B., & Rea, M. S. (2010). The effects of red and blue light on alertness and mood at night. *Lighting Research & Technology, 42*(4), 449–458.
Qin, Y., Xu, P., & Yao, D. (2010). A comparative study of different references for EEG default mode network: The use of the infinity reference. *Clinical Neurophysiology, 121*(12), 1981–1991.
Russel, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology, 39*(6), 1161–1178.
Sackeim, H. A., Greenberg, M. S., Weiman, A. L., Gur, R. C., Hungerbuhler, J. P., & Geschwind, N. (1982). Hemispheric asymmetry in the expression of positive and negative emotions. Neurologic evidence. *Archives of Neurology, 39*(4), 210–218.
Schutter, D. J., van Honk, J., d'Alfonso, A. A., Postma, A., & de Haan, E. H. (2001). Effects of slow rTMS at the right dorsolateral prefrontal cortex on EEG asymmetry and mood. *Neuroreport, 12*(3), 445–447.
Shi, Z. (2010). Formation and development of western music analysis disciplines: Also on its influence upon Chinese music analysis discipline. *Hundred Schools in Arts, 26*(3), 171–175, 195.
[施忠. (2010). 西方音乐分析学科的形成与发展——兼论对我国音乐分析学科的影响. *艺术百家, 26*(3), 171–175, 195.]
Shin, Y.-B., Woo, S.-H., Kim, D.-H., Kim, J., Kim, J.-J., & Park, J. Y. (2015). The effect on emotions and brain activity by the direct/indirect lighting in the residential environment. *Neuroscience Letters, 584*, 28–32.
Sutton, T. M., & Altarriba, J. (2016). Color associations to emotion and emotion-laden words: A collection of norms for stimulus construction and selection. *Behavior Research Methods, 48*(2), 686–728.
Tantanatewin, W., & Inkarojrit, V. (2016). Effects of color and lighting on retail impression and identity. *Journal of Environmental Psychology, 46*, 197–205.
Thayer, R. E. (1990). *Biopsychology of mood and arousal*. Oxford, UK: Oxford University Press.
Vieillard, S., Peretz, I., Gosselin, N., Khalfa, S., Gagnon, L., & Bouchard, B. (2008). Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions. *Cognition and Emotion, 22*(4), 720–752.
Viola, A. U., James, L. M., Schlangen, L. J., & Dijk, D.-J. (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 34*(4), 297–306.
Wang, J. F., & Zhang, N. (2009). Effect of the Yu-tone music to reduction of fear emotion. *Chinese Journal of Behavioral Medicine and Brain Science, 18*(4), 354–356.
[王金芳, 张宁. (2009). 羽调音乐对大学生恐惧情绪的缓解作用. *中华行为医学与脑科学杂志, 18*(4), 354–356.]
Yoto, A., Katsuura, T., Iwanaga, K., & Shimomura, Y. (2007). Effects of object color stimuli on human brain activities in perception and attention referred to EEG alpha band response. *Journal of Physiological Anthropology, 26*(3), 373–379.
Zhang, H. & Tang, Z. (2011). To judge what color the subject watched by color effect on brain activity. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 11*(2), 80–83.

The effects of music mode and lamplight color on human emotion based on quantitative EEG

LU Wei[1]; HUANG Erqi[1]; YUAN Jinxia[2]
([1] *Nanjing Agricultural University, College of Engineering, Nanjing* 210031, *China*)
([2] *Nanjing Normal University, School of Education Science, Nanjing* 210097, *China*)

Abstract

Numerous studies showed that music mode and lamplight color impact audiences' emotions. It's generally accepted that major-mode, Chinese ancient Gong-mode and red light are associated with excited and vigorous emotions. Minor-mode, Chinese ancient Yu-mode, and blue and green light have characteristics of calm and contented emotion. Furthermore, recent studies indicated that both music modes and lamplight colors induce emotional changes. Beyond exploring the effects of two emotional stimuli on emotional induction, this study validated the consistency of emotional information of the stimuli with the two emotional stimulations.

Participants (total 41) were divided into two groups randomly to take part in different experiments. In the first experiment, three lamplight colors and four music modes were stimulated on 21 participants to study their subjective perception. Simultaneously, the EEG data of participants were collected. In the second experiment, dual-factor stimulations with three lamplight colors and four music modes were applied on 20 participants to evaluate their subjective perception, with the EEG data collected. Before each experiment, every participant was asked to execute two moderately difficult calculations to clear their minds. The average frequency band power of EEG was calculated and the subjective emotional evaluation was done at the end of each experiment.

The first experiment showed that major-mode and Chinese ancient Gong-mode tunes were positive

emotional stimuli; on the contrary, minor-mode and Chinese ancient Yu-mode tunes were negative. The arousal degree of tri-color light (red, blue, and green) is greater than the minor-mode tune. The second experiment revealed that red lamplight color inhibited the effect of tune mode on emotional potency. Despite the fact that blue and green lamplight colors promoted the effect of Western tune mode, they inhibited that of Oriental tune mode.

The study concluded as below. (1) It is feasible to study the effects of different tuned modes and lamplight colors on human emotion using qEEG technology. (2) Western major mode tunes, Chinese ancient Gong-mode tunes and green lamplight color have positive effects on the human mood emotion. However, Western minor mode tunes, Chinese ancient Yu-mode tunes and red light color have negative effects on the human emotion. (3) Tune mode and lamplight color have interactive effects on human emotion, which can strengthen emotion under the condition of positive correlation and vice versa. (4) Tune mode is the main factor for affecting human emotion when the two factors of tune mode and lamplight color act as stimuli simultaneously. However, lamplight color also has significant contributions and differences for emotional effect when the two factors are combined. (5) The emotional information of the stimulating tune is consistent with the induced emotions. The mood labels of the lamplight colors are generally related to the responded emotions.

Key words　qEEG; tune; emotion; lamplight color